

Santhu Poikela

JÄLKIKIINNITETTÄVIEN ANKKURIEN OMINAISUUDET JA MITOITUSPERUS- TEET

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Santtu Poikela: Jälkikiinnitettävien ankkurien ominaisuudet ja mitoitusperusteet
Attributes and design methods for post-installed anchors
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan kandidaatintutkinto
Tammikuu 2020

Tämän tutkimuksen tarkoitus on perehtyä jälkikiinnitettävien ankkureiden ominaisuuksiin ja mitoitusperusteisiin. Tarkoitus on antaa kuva ankkurien kiinnitysmekanismeista, niiden murtumistavasta ja todellisista kestävyyksistä vetolujuutta ajatellen. Mitoitusperusteiden osalta käydään läpi, miten eri murtumismuodot mitoitetaan teoreettisesti ja kokeellisesti. Työssä käsitellään vain raudoittamattomaan betoniin jälkikiinnitettyjä ankkureita. Murtumismuotojen, vetolujuuksien ja mitoituksen osalta käsitellään vain yksittäisten ankkureiden ominaisuuksia vedossa.

Ankkureiden kiinnitysmekanismeja ja murtumismuotoja koskeva informaatio kerättiin kirjallisuuslähteistä ja EOTA:n dokumenteista. Mitoitukseen vaadittu informaatio kerättiin asiaa käsittelevästä eurokoodista ja EOTA:n ylläpitämistä testeistä vastaavista dokumenteista. Vetolujuuksien vertailussa käytettiin kahden eri valmistajan ankkurimalleja, ja vetolujuudet kerättiin ankkureiden ETA-hyväksyntädokumenteista.

Työssä haasteelliseksi osoittautui vetolujuuksien vertailu. Saman asennussyvyyden omaavia ankkureita ei löytynyt eri tyyppien kesken, jolloin vertailussa piti käyttää eri syvyyksillä olevia ankkureita. Tuloksista saatiin kuitenkin selkeitä eroja ankkurityyppien ja mallien välillä.

Avainsanat: Jälkikiinnitettävä ankkuri, ankkurointi, kiila-ankkuri, takakartioankkuri, lyöntiankkuri, ruuviankkuri, kemiallinen ankkuri

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä jälkikiinnitettävien ankkureiden ominaisuuksien ja mitoitusperusteisiin liittyvä tutkimus on tehty osana tekniikan kandidaatintutkintoa.

Tämän raportin on tehnyt Santtu Poikela ja työtä on ohjannut Olli Kerokoski Tampereen yliopistosta.

Tampereella, 06.1.2020

Santtu Poikela

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ANKKUREIDEN OMINAISUUDET	2
2.1 Takakartioankkurit.....	3
2.2 Kiila-ankkurit	4
2.3 Lyöntiankkurit.....	5
2.4 Kemiaalliset ankkurit	6
2.5 Ruuviankkurit	6
3. ANKKUREIDEN PETTÄMINEN VEDOSSA	8
3.1 Betonin murtuminen	8
3.1.1 Kartiomurtuminen.....	9
3.1.2 Halkeamismurtuminen	10
3.1.3 Sivukartiomurtuminen	10
3.2 Ankkurin metallin murtuminen	11
3.3 Ulosvetomurtuminen	12
3.4 Betonin ja sidosaineen yhdistetty murtuminen.....	12
3.5 Ruuviankkurin murtuminen.....	12
4. YKSITTÄISTEN ANKKUREIDEN MITOITUS VEDOSSA	13
4.1 Eurokoodin mukainen mitoitus vedolle	13
4.1.1 Metallin murtuminen.....	14
4.1.2 Betonin kartiomurtuminen	14
4.1.3 Luisumismurtuminen	16
4.1.4 Betonin sivukartio- ja halkeamismurtuma	16
4.1.5 Betonin ja sidosaineen yhdistetty murtuminen	17
4.2 EOTA:n testimenetelmät	19
5. VETOLUJUUKSIEN VERTAILU	21
6. YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

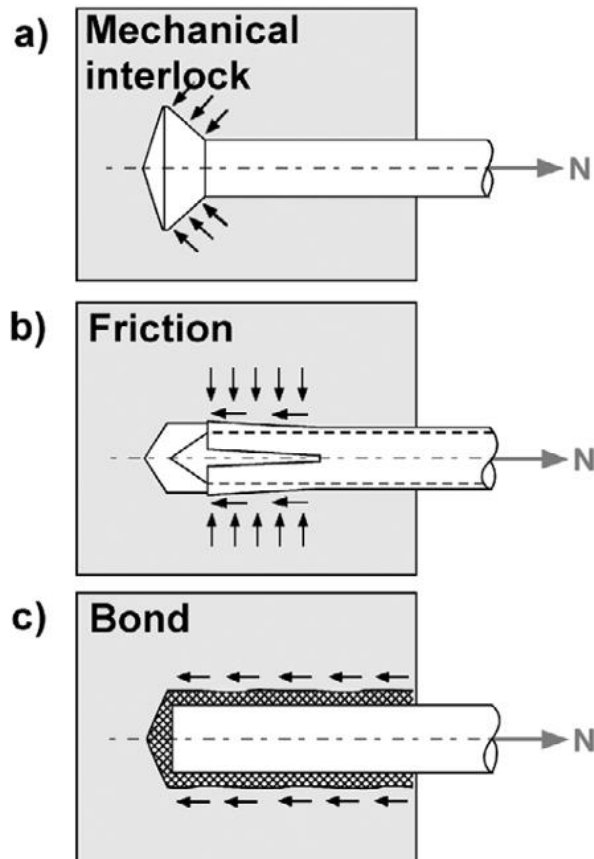
Ankkureiden käyttäminen varsinkin puurakenteissa on erittäin vanha keksintö. Erilaiset lo-veamistekniikat, tapit, naulat, ja ruuvit, joiden avulla voidaan kiinnittää rakenteita toisiinsa ovat olleet käytössä jo vuosituhansia. Betoniin ennen valamista liitettyjä ankkureita on myös käytetty siitä asti, kun betonia vastaavia massoja on voitu valmistaa. Betoniin jälki-kiinnitettävät ankkurit, varsinkin mekaanisesti ja kitkalla kiinnittyvät ankkurit, jotka kestä-vät vetorasituksia ovat kuitenkin suhteellisen uusi keksintö. Ne mahdollistavat tarkkojen ja vahvojen liitoskohtien luomisen valmiiseen betonipintaan.

Nykypäivän jälkiinnitetyillä ankkureilla voidaan kiinnittää niin nyrkkeilysäkki, kuin 10000 kilogrammaa painava teräsrakenne. Tarjolla on useita eri ankkurityyppejä, ja jokai-selle tyyppille on useita eri malleja. Eri tyypit kiinnittyvät eri periaatteilla ja jokainen malli on suunniteltu tiettyjä käyttötarkoituksia varten. Suuri valikoima ja erilaiset kiinnitystavat aiheuttavat haasteita oikean ankkurin valinnassa oikeaan tilanteeseen. Oikean ankkurin va-linnassa tarvitaan ymmärrys ankkurin toiminnasta ja mallin mahdollisista heikkouksista. Täten on tärkeää ymmärtää eri ankkurien toimivuutta eri tilanteissa.

Tämän työn tarkoitus on perehtyä eri kiinnityspeiraatteilla toimivien ankkureiden ominai-suuksiin ja kestävyyskseen vetolujuuden osalta. Tarkoitus on myös tutustua jälkiinnitettä-vien ankkureiden eurokoodin mukaiseen mitoituskseen ja testivaatimuksiin.

2. ANKKUREIDEN OMINAISUUDET

Ankkureiden kiinnittyminen valmiiseen betonipintaan tapahtuu sidosaineella, hyödyntämällä kitkaa, mekaanisella kiinnityksellä tai näiden yhdistelmällä. Sidosaineet eli kemialliset ankkurimassat ovat betonin ja ankkurin väliin asennettavia massoja, jotka kuljettavat rasituksesta aiheutuneet kuormat ankkurista betoniin. Kitkaa hyödyntävä kiinnitys perustuu ankkurin jännityksen nousuun kiinnityksen jälkeen, mikä aiheuttaa kitkavoiman kasvun ankkurin ja betonin tartuntapinnoilla. Mekaanisessa kiinnityksessä ankkurin kiinnityskohdan poikkileikkauksen pinta-alaa kasvatetaan ankkurin päässä, jolloin ankkuriin aiheutuvat rasitukset siirtyvät suoraan betoniin. (Eligehausen et al. 2006, s. 5) Kuvassa 1 on esitetty eri kiinnittymistavoissa tapahtuva voimien siirtyminen.



Kuva 1. Voimien siirtyminen eri kiinnitystavoissa, *Mechanical interlock*=Mekaaninen kiinnitys, *Friction*=Kitkalla tapahtuva kiinnitys, *Bond*= Sidosaineella tapahtuva kiinnitys, (Eligehausen et al. 2006, s. 5)

2.1 Takakartioankkurit

Takakartioankkuri kiinnittyy täysin mekaanisella kiinnityksellä, joka sijaitsee ankkurin pohjassa. Kestävyys on takakartioankkurissa riippuvainen asennussyvyydestä, pienimmän poikkileikkauksen pinta-alasta, kartio-osan leveydestä, betonin poikkileikkauksen mitoista ja betonin lujuusluokasta. Takakartioankkuri saavuttaa täyden kiinnityksen heti kiinnityksen jälkeen. (Eligehausen et al. 2006, s. 16)

Takakartioankkurin rakenne on kaksiosainen. Sisempi osuus on umpinainen, ja se koostuu metallisesta tangosta, jonka toisessa päässä on kiertet. Toisessa päässä on kartion muotoinen, tankoa leveämpi osuus. Ulompi osuus on ontto metallinen putki, jonka toisesta päästä on poistettu kapeita pituussuuntaisia kappaleita jakaen sen 5-8 osaan. Toisessa päädyssä on kiinnityskohta erilliselle kiinnitystyökalulle. Kun ankkuri on paikallaan, uloimman osan toiseen päähän kiinnitetään erillinen työkalu, joka poraa iskevällä porakoneella uloimman osan kohti sisemmän osan kartiota. Osiin jaettu pääty alkaa laajenemaan sen kohdatessa suuremman pinta-alan, ja muodostaa mekaanisen kiinnityksen. (Eligehausen et al. 2006, s. 17)

Takakartioankkureille on ominaista, että kiinnityskohdassa betoni ei puristu, vaan ennemminkin hajoaa (EAD 330232-00-0601: 2017, s. 8). Ankkuri on mahdollistaa irrottaa, mutta kiinnitysreikää tai ankkuria ei voida käyttää uudestaan. Kuvassa 2 on esitetty Hiltin HDA-P takakartioankkuri kiinnitettynä.

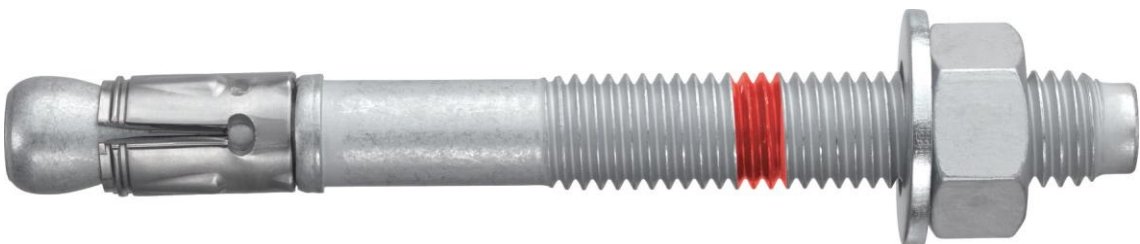


Kuva 2. Takakartioankkuri asennettuna (Hilti/tuotteet/takakartioankkurit, 2019)

2.2 Kiila-ankkurit

Kiila-ankkuri vastaa ominaisuuksiltaan takakartioankkuria, mutta takakartioankkurin kiinnityksen ollessa täysin mekaaninen, kiila-ankkureissa betoni ei yleensä hajoa vaan puristuu. Tällöin kiila-ankkurin kiinnitys on kitkan ja mekaanisen kiinnityksen yhdistelmä (EAD 330232-00-0601: 2017, s.5). Kiila-ankkureiden ominainen piirre on kiinnitysvoiman kasvaminen vetovoiman kasvaessa.

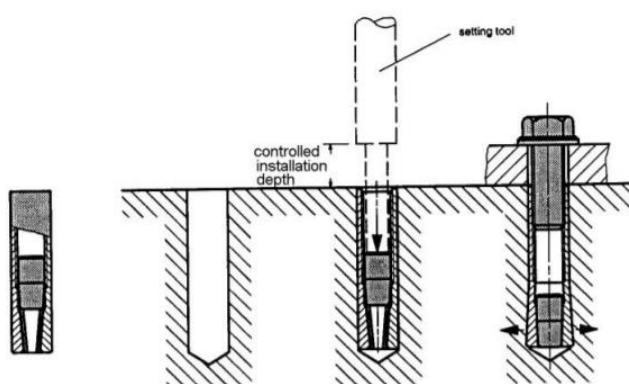
Ankkuri koostuu kahdesta osasta, jossa sisempi osa on umpinainen terästanko, jossa toinen pää on kartion mallinen ja toisessa päässä on kierteet. Ulompi osuus on lyhyt holkki, joka on irrallaan kartion mallisen pään perässä. Kun ankkuri on lyöty reikään ja sisemmän osan kierteisiin kiinnitettyä mutteria aletaan kiristämään, sisempi kappale vetäytyy ja irrallaan oleva holkki painuu kartiota kohden laajentuen ja aiheuttaen kitka- ja mekaanisen kiinnityksen. Jotta kiila-ankkuri toimii, tulee kitkan holkin ja kartion välissä olla pienempi kuin kitka holkin ja betonin välissä. Jos tämä ehto ei toteudu, ankkuri luistaa pois reiästä ennen kuin kiinnitys pääsee tapahtumaan. (Eligehausen et al. 2006, s. 11-14) Kuvassa 3 on Hiltin HST3 mallin kiila-ankkuri.



Kuva 3. Hiltin HST3 mallin kiila-ankkuri (Hilti/tuotteet/kiila-ankkurit, 2019)

2.3 Lyöntiankkurit

Lyöntiankkurit hyödyntävät kitkalla tapahtuvaa kiinnitystä, mutta laajenevan osuuden kohdalla ja etenkin malleissa, joissa on rosoiseksi muotoiltu ulkopinta, voidaan nähdä mekaanisen kiinnityksen piirteitä. Lyöntiankkurin rakenne on kaksiosainen. Päärakenne on ontto metallinen putki, jonka toinen pääty on jaettu osiin. Sisäpuolella on usein hahlot, jotka mahdollistavat erillisen pultin kiinnityksen ankkuriin. Päärakenteen sisällä on kartionmuotoinen, irrallaan oleva osa. Ankkuri kiinnitetään lyömällä reikään asennetun ankkurin kartionmuotoista osaa lyöntityökalulla, joka kiilaa irrallaan olleen kappaleen ankkurin pätyyn. Ankkurin pää rakenne pyrkii laajenemaan ja synnyttää kitkalla tapahtuneen kiinnityksen. (ETAG 001, Part 4, 2013, s. 3) Lyöntiankkurin kiinnittäminen on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Lyöntiankkurin kiinnittäminen (ETAG 001, Part 4, 2013, s.3)

Ankkurin kiinnittyminen muistuttaa suuresti kiila-ankkurin kiinnittymistä, mutta lyöntiankkuri ei pysty kiila-ankkurin tapaan vahvistamaan kiinnittymistään vedon kasvaessa. Manuaalisesti kiinnitettävien lyöntiankkureiden kiinnittyminen varmistetaan lyöntityökalulla, jossa oikea asennussyvyys varmistetaan lyöntityökalun paksuimman osuuden osuessa betoniin. Lyöntityökalua käytettäessä tulee huomioida asennussyvyyden ja reiän halkaisijan tarkkuus, koska liian suurella halkaisijalla ankkuri ei pysty kiinnittymään ja liian pienellä halkaisijalla ankkurin kiinnittäminen ei onnistu manuaalisesti, koska kartion liikuttaminen vaatii liian suurta voimaa. Asennussyvyys tulee varmistaa erillisellä poralla, jossa porautuminen estetään sen saavutettua tietyn syvyyden. (Eligehausen et al. 2006, s. 14-16)

Koneella kiinnitettävien lyöntiankkureiden rakenne on sama kuin manuaalisesti kiinnitettävien. Erona on kartion kiilaaminen koneellisesti, mikä mahdollistaa suuremman kiinnitysvoiman.

2.4 Kemialliset ankkurit

Kemialliset ankkurit käyttävät sidosainetta kuorman johtamiseen ankkurista betoniin. Sidosaaineet voidaan jakaa keinotekoisiiin ja sementtisiin sidosaineisiin tai näiden yhdisteiksi (ETAG 001, Part 5, 2013, s. 3-4). Ankkurimassat voidaan jakaa kapseluihin ja juotettaviin malleihin.

Kapsелеissa ankkurimassa on asennettu kaksiosaisena lasi- tai foliokapselin sisään. Kapseli asennetaan puhdistettuun reikään ja ankkurina toimiva tanko porataan kapselin lävitse, jolloin kapseli rikkoutuu ja massat sekoittuvat keskenään. Osa kapselin rakenteesta poistuu poratessa, poistumaton osa hajoaa ja sekoittuu sidosmassaan. Kapsелеita käytettäessä on huomioitava, että kahden eri massan sekoittuminen on erittäin tärkeää liitoslujuuden saavuttamiseksi. Tämän takia ankkuritangon asentaminen manuaalisesti lyömällä ei tuota yhtenäistä sidosta koko ankkurin matkalle, vaan vain osa sidosaaineista pääsee sekoittumaan. (Eligehausen et al. 2006, s. 19-21) Lasisten kapsелеiden käyttö on nykyään harvinaista, sillä foliokapsелеiden käsitteleminen ja käyttäminen on helpompaa. (Mantila, 2019)

Juotettavissa malleissa ankkurimassa pumpataan kiinnitysreikään erillisellä koneella, joka sekoittaa sidosaaineet keskenään. Ankkuritanko työnnetään pyörittäen tai poraten reikään, jotta voidaan maksimoida sidosaineen leviäminen koko ankkurin pinta-alalle.

Kemiallisella sidoksella kiinnittyvissä ankkureissa vahvuutena on koko pinta-alalle ulottuva sidos. Varsinkin jos sidosaaine omaa suuremman murtorajan kuin betoni, silloin niiden ominaisuudet vastaavat hyvin paljon ankkureita, jotka ovat kiinnitetty betoniin ennen valamista. Huomioitavaa on myös se, että pienikin määrä betonipölyä tai muuta vastaava hienoainesta sidosmassan ja betonipinnan välillä aiheuttaa suuren heikkenemisen ankkurin kestävyYTEEN.

2.5 Ruuviankkurit

Ruuviankkurit kiinnittyvät ruuvien kierteiden väliin jääneen betonin avulla mekaanisella kiinnityksellä. Ankkurille tulee porata asennusreikä, jonka halkaisija on hieman ankkurin keskiön halkaisijaa suurempi. Tämä helpottaa ankkurin kiinnitystä betoniin. Ruuviankkurin rakenteessa tulee huomioida mahdollisimman kova kestävyys betonin hahlojen murtumista vastaan. Ankkurin kiristäminen vaadittuun lujuuteen ei saa rikkoa sen betoniin luomia hahloja. Jos hahlot murtuvat, myös ankkurin vetokestävyys pienenee murto-osaan. Useimmat betoniruuvit ovat kuusiokantaisia, kuten kuvan 5 Sormatin betoniruuvi.

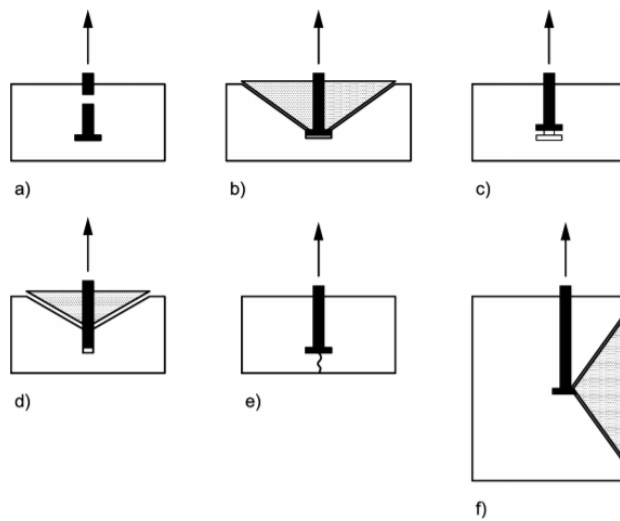


Kuva 5. *Sormatin S-CSA HEX betoniruuvi (K-rauta, 2019)*

Toisin kuin muilla ankkurimalleilla, ruuviankkurin reiän puhtaudella ei ole suurta vaikutusta ankkurin kestävyYTEEN (Ville Mantila, 2019). Ruuviankkurin selvin ero muihin ankkurityyppeihin on sen uudelleenkäytettävyys, eikä uudelleen käytettävän ankkurin ominaisuudet huonone merkittävästi verrattuna täysin uuteen ankkuriin. Asennuksessa käytetään porakonetta tai jakoavainta. Ankkurin tulee myös olla kyllin vahvaa terästä, jotta se pystyy luomaan hahlot betonin sisälle vaurioittamatta omaa rakennettaan.

3. ANKKUREIDEN PETTÄMINEN VEDOSSA

Ankkureiden ominaisuudet ja kiinnityspeiraatteet eroavat toisistaan suuresti, joten myös ankkureiden pettämismekanismeilla on eroja. Ankkureiden pettäminen vedossa tapahtuu joko betonin murtumisella, sidosaineen murtumisella, näiden yhdistelmänä, ankkurin murtumisella tai kitkavoiman ylittyessä ankkureissa, joiden kiinnittyminen perustuu kitkavoiman lisäämiseen (EN 1992-4, 2018, s.47).



Kuva 6. Eri murtumismuodot (EN 1992-4, 2018, s.47)

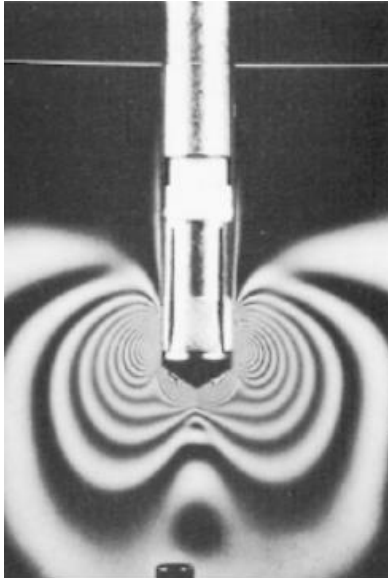
Kuvan 6 eri murtumismuotojen selitykset,

- a) Ankkurin metallin murtuminen
- b) Betonin kartiomurtuminen
- c) Ulosvetomurtuminen
- d) Yhdistetty betonin ja sidosaineen murtuminen kemiallisissa ankkureissa
- e) Betonin halkeaminen
- f) Betonin sivukartiomurtuminen

3.1 Betonin murtuminen

Jälkikiinnitettävät ankkurit voivat aiheuttaa betonin murtumisen kolmella eri tavalla. Kartio-, sivukartio- tai halkeamismurtumisena. Jokainen murtumismuoto johtuu betonin rakenteen pettämisestä. Ankkureiden kiinnityspiste on betonin sisällä, jolloin vetorasituksesta aiheutunut jännitys betoniin on suurimmillaan kiinnityspisteen ympärillä ja vähenee

suunnattaessa betonin pintaa kohden. Tämä aiheuttaa betonin sisäisen halkeilemisen, joka lopulta johtaa betonin murtumiseen. Sisäiset murtumat ovat sidoksissa betonin kiviaineksen sijaintiin ja näin ollen murtumiskulmat ja voimat voidaan vain arvioida. Kuvassa 7 on hahmotelma ankkurin tuottamasta jännityksestä betoniin.



Kuva 7. Hahmotelma betonin jännitys jakaumasta (Eligehausen et al. 2006. s. 13; Seghezzi 1983)

3.1.1 Kartiomurtuminen

Kartiomurtumisessa betonista irtoaa kartionmuotoinen kappale, joka alkaa ankkurin kiinnittymispisteestä. Kartiomurtuminen tapahtuu, kun betonin koko jännityskapasiteetti on hyödynnetty. Sillä ehdolla, että ulosveto-, metallinmurtuminen tai betonin muu murtuminen ei pääse tapahtumaan. Betonin kartiomurtuminen takakartioankkurissa on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Takakartioankkurin aiheuttama betonin kartiomurtuminen (Eligehausen et al. 2006, s. 33; Eligehausen 1984)

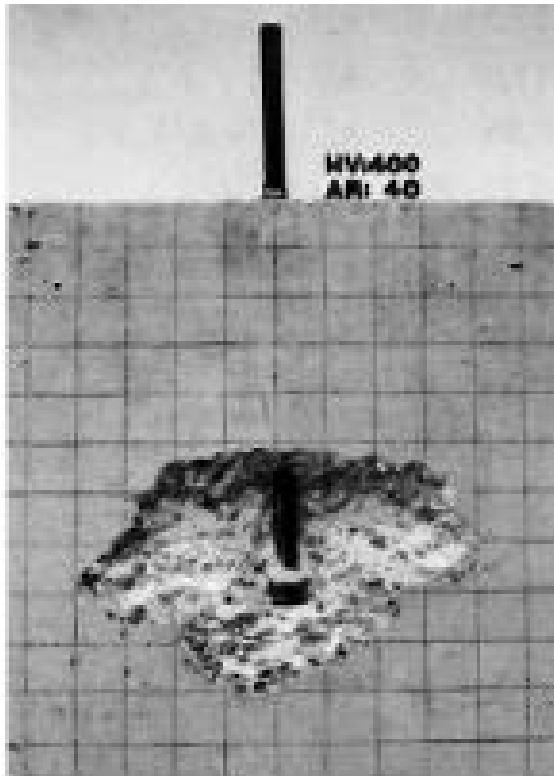
Kartiomurtumisessa betoniin alkaa muodostua mikrohalkemia ja leveämpiä selkeitä halkeamia jännityksen kasvaessa. Nämä halkeamat alkavat mekaanisen kiinnityksen kohdasta ja leviävät noin 35 asteen kulmassa betonin pinnan ja kiinnityspisteen suhteen. Murtuminen tapahtuu, kun halkeamat saavuttavat noin 50 % murtuvan kartion pituudesta. Betonin käyttäytyminen rasituksessa ei ole lineaarista, johtuen sen epähomogeenisesta rakenteesta. Joten voimaa, joka vaaditaan kartiomurtumiseen, voidaan kuvata vain tietyllä tarkkuudella. (Eligehausen et al. 2006, s. 37-42, 66-67) Tässä työssä käsiteltävistä ankkureista kartiomurtuminen voi tapahtua jokaiselle ankkurille.

3.1.2 Halkeamismurtuminen

Betonin halkeamismurtuminen tapahtuu, jos kiinnitysalustalla on liian pienet dimensiot, jos ankkuri on kiinnitetty lähelle reunaa, tai jos ankkurit on kiinnitetty liian lähelle toisiaan. Halkeamismurtuminen voi tapahtua jokaisella ankkurimallilla.

3.1.3 Sivukartiomurtuminen

Sivukartiomurtuminen voi tapahtua syvälle kiinnitetyissä ja pienen reunaetäisyyden omaavissa ankkureissa. Murtuminen tapahtuu betonikappaleen reunassa kuvan 5 kohdan f mukaan. Kuvassa 9 on esitetty betoniin ennen valamista asennetun ankkurin sivukartiomurtuma.



Kuva 9. Esikiinnitetyn ankkurin sivukartiomurtuminen (Eligehausen et al. 2006, s. 93; Furche, Eligehausen, 1991)

Murtumisalue vastaa erittäin paljon kartiomurtumista, mutta sivukartiomurtuman kartio on todettu olevan huomattavasti leveämpi kuin vetosuuntaan irtoavan kartion. Kartion leveys on arviolta kuusinkertainen reunaetäisyyteen verrattuna. (Eligehausen et al. 2006, s. 95)

Sivukartiomurtuminen voi tapahtua takakartio- ja kiila-ankkureille. Se on kuitenkin huomattavasti epätodennäköisempi kiila-ankkureille, sillä kiila-ankkurin kiristäminen haluttuun jännitykseen aiheuttaa yleensä lohkeaman betonin reunaan jo kiinnitysvaiheessa pienellä reunaetäisyydellä.

3.2 Ankkurin metallin murtuminen

Metallin murtumisella tarkoitetaan ankkurin pienimmän poikkileikkauksen murtumista. Juotettavien ankkurien osalta on huomioitava, että kyseessä on pienin poikkileikkaus betonin pinnasta ulospäin. Mekaanisesti ja kitkalla kiinnittyvillä ankkureilla kyseessä on pienin poikkileikkaus kiinnityspisteestä ulospäin. Koska metallin vetolujuus voidaan teoreettisesti arvioida erittäin tarkkaan, ja tulosta pystytään soveltamaan käytännön tilanteisiin pienillä virherajoilla, joten tämä murtumismuoto on huomattavasti muita tarkempi teoreettisen määrityksen osalta.

3.3 Ulosvetomurtuminen

Ulosvetomurtumisessa ankkureiden laajenevat osuudet eivät pysty vastaanottamaan rasitusta, jota vaaditaan betonin tai metallin murtumiseen. Eligehausen et al. 2006, s. 65 mukaan tämä peltämismuoto on kielletty mitoitusperusteena joissakin maissa. Euroopassa tämä on yksi kahdeksasta eri mitoitettavasta murtumismuodosta vedossa oleville ankkureille (ETAG 001, Annex C, 2010, s. 17). Ulosvetomurtuminen voi tapahtua kiila-, lyönti-, takakartio- ja ruuviankkureille. Ulosvetomurtumisella tarkoitetaan myös kemiallisen ankkurin sidosaineen murtumista.

3.4 Betonin ja sidosaineen yhdistetty murtuminen

Betonin ja kemiallisen ankkurin sidosaineen yhdistetyssä murtumisessa tapahtuu betonin ja sidosaineen samanaikainen murtuminen. Betonista tapahtuu kartiomurtuminen ja sen alapuolelle jäävässä kiinnityksessä tapahtuu ulosvetomurtuminen. Yhdistetty murtuminen on esitetty kuvassa 5 kohdassa d. Yhdistetyssä murtumisessa sidosmassan murtuminen voi tapahtua betonin ja sidosmassan kiinnityspinnalla, ankkuritangon ja sidosaineen kiinnityspinnalla tai näiden yhdistelmänä. (Eligehausen et al. 2006, s. 181) Yhdistetty murtuminen on ominaista vain kemiallisille ankkureille.

Pienillä asennussyvyyksillä kemialliset ankkurit murtuvat betonikartiona. Kartio on samanlainen kuin mekaanisesti ja kitkalla kiinnitettyjen ankkureiden betonikartiomurtuminen, eli kartio alkaa kiinnityksen alimmasta kohdasta. Suurilla asennussyvyyksillä kemialliset ankkurit peltävät ankkuritangon betonin yläpuolisesta osasta. (Eligehausen et al. 2006, s. 181) Tapauksissa, joissa sidosaine on heikkoa, voi tapahtua pelkkä sidosaineen murtuminen.

3.5 Ruuviankkurin murtuminen

Ruuviankkureiden murtuminen käsitellään erikseen, koska se omaa jokaisen edellä mainitun murtumismuodon, poissulkien betonin sivukartiomurtumisen. Pienellä halkaisijalla ja pienen asennussyvyuden omaavissa ankkureissa murtuminen tapahtuu ulosvetona. Ankkurit, joissa kierteet eivät jatku koko ankkurin pituutta, ulosvetomurtuminen on myös mahdollista, riippumatta asennussyvyydestä. Ulosvetoon vaadittu rasitus tulee määrittää kokeellisesti (Eligehausen et al. 2006, s. 231).

Betonin kartiomurtuminen tapahtuu pienellä asennussyvyydellä ja suurella halkaisijalla. Yhdistetty murtuminen tapahtuu samalla periaatteella kuin kemiallisille ankkureille, mutta sidosaineen murtumisen sijaan ruuviankkureiden kartion alapuolisessa osuudessa tapahtuu ulosvetomurto. Suurilla asennussyvyyksillä tapahtuu teräksen murtuminen.

4. YKSITTÄISTEN ANKKUREIDEN MITOITUS VEDOSSA

Yksittäisten ankkureiden mitoituksessa eurooppalainen standardi EN 1992-4:2018 on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. EN 1992-4 antaa teoreettisen pohjan ankkurien mitoitukselle. Useat muuttujat mitoituksyhtälöissä pohjautuvat testeistä saatuihin arvoihin, jotka ovat malli kohtaisia. Testien suorittamiseen vaaditut olosuhteet, laitteisto ja testausmäärät on annettu EOTA:n (European Organisation for Technical Assessments) ohjeistuksissa.

Vuoteen 2014 ankkureiden tekniset tiedot, mitoitustiedot, testaustavat ja hyväksyntävaatimukset kulkivat ETAG (European Technical Approval Guidelines) ja EOTA TR (Technical Report) nimityksellä. Vuonna 2014 ETAG:ja alettiin korvata siirtämällä dokumenttien informaatio kahteen eri kohteeseen. Teoreettinen mitoitustapa korvattiin yllä mainitulla EN 1992-4 standardilla. Ankkurimallien tekniset tiedot ja eri mallien vaatimat testaustavat korvattiin EAD:lla (European Assessment Documents). EOTA TR ensisijaisesti tukee ja tarkentaa EAD:n informaatioita. Varsinkin tilanteissa, joissa arviointi koskee useaa eri EAD:ta. (EOTA, 2019)

4.1 Eurokoodin mukainen mitoitustapa vedolle

Yksittäisten ankkureiden mitoituksessa vedolle huomioidaan ankkurin metallin murtuminen, betonin kartiomurtuminen, betonin halkeamismurtuminen ja betonin puhkeamismurtuminen. Edellä mainittujen lisäksi kemiallisilla ankkureilla huomioidaan myös betonin ja sidosaikkeen yhdessä tapahtuva murtuminen. Mekaanisesti-, ja kitkalla kiinnittyville ankkureille huomioidaan ankkurin ulosvetomurtuminen. Ankkuri tulee mitoitaa pienimmälle arvolle edellä mainituista murtumistapauksista. (EN 1992-4, 2018, s. 49)

Teräksellä vahvistetulla betonilla tulee huomioida myös vahvistusterästen murtuminen ja vahvistusterästen ankkuroinnin murtuminen (EN 1992-4, 2018, s. 49). Käsitlemme vain raudoittamatonta betonia, jolloin vahvistusterästen ominaisuuksia ei huomioida.

Tässä osiossa esitetyt yhtälöt ovat EN 1992-4, 2018, s.49-61 mukaiset standardit ankkureiden vetorasituksen mitoitukselle.

4.1.1 Metallin murtuminen

Ankkurin metallin murtuminen määritellään pienimmän poikkileikkauksen pinta-alan A_s ja materiaalin murtolujuuden f_{uk} tulona.

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \quad (1)$$

4.1.2 Betonin kartiomurtuminen

Kartiomurtuminen määritellään seuraavasti.

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} \quad (2)$$

Kartiomurtumisen kaavan muuttujat ovat esitetty alla.

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (3)$$

Missä

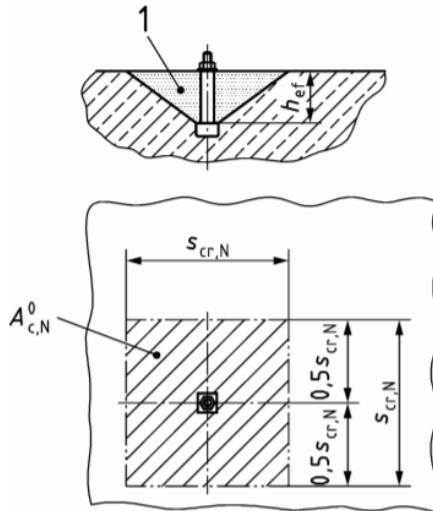
$$k_1 = \begin{cases} k_{cr,N} & (\text{halkeillut betoni}) \\ k_{ucr,N} & (\text{halkeilematon betoni}) \end{cases}$$

Kertoimen k_1 suositusarvot jälkikiinnitettäville ankkureille ovat $k_{cr,N} = 7,7$ ja $k_{ucr,N} = 11$.

Muuttuja $A_{c,N}^0$ kuvaa ideaalisen betonikartion pinta-alaa, olettaen sen pinnan olevan neliön muotoinen.

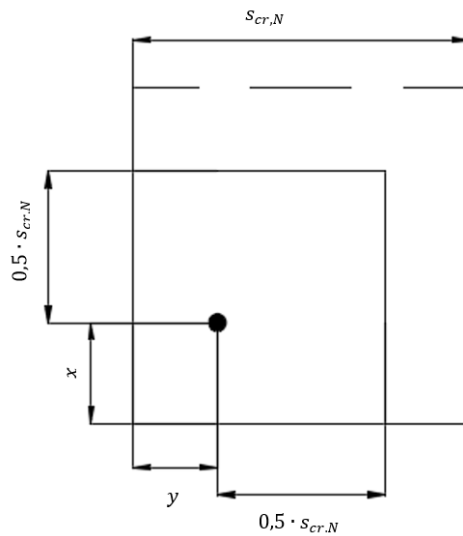
$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad (4)$$

Missä $s_{cr,N}$ on oletetun kartion sivun pituus. Nykyisen tiedon perusteella $s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$.



Kuva 10. Ideaalisen kartion pinta-ala (EN 1992-4, 2018, s. 50)

Muuttuja $A_{c,N}$ huomioi betonikartion ei ideaalisen pinta-alan, eli tilanteen, jossa ankkurin keskipisteen etäisyys reunaan on pienempi kuin $0,5 \cdot s_{cr,N}$. Esimerkki tilanteesta jossa $A_{c,N} < A_{c,N}^0$ on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Esimerkki ei ideaalisesta kartiosta.

Kuvan (11) tapauksessa $A_{c,N}$ voidaan esittää muodossa

$$A_{c,N} = (x + 0,5 \cdot s_{cr,N}) \cdot (y + 0,5 \cdot s_{cr,N}) \quad (5)$$

Kerroin $\psi_{s,N}$ huomioi voimien epätasaisen jakautumisen betonissa, johtuen pienistä reunaetäisyyksistä, kaavassa (6) muuttuja c kuvaa ankkurin pienintä reunaetäisyyttä.

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (6)$$

Ankkurin syvyys huomioidaan kertoimella $\psi_{re,N}$, joka on voimassa, kun $h_{ef} \leq 100mm$.

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad (7)$$

Raudoitettun betonin tapauksessa $\psi_{re,N} = 1$, jos raudoituksen jakoväli on $\leq 150mm$.

Kerroin $\psi_{ec,N}$ huomioi tilanteen, jossa erikokoiset jännitykset vaikuttavat yksittäisiin ankkureihin ankkuri ryhmässä.

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{e_N}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1 \quad (8)$$

Missä e_N on jännitysten aiheuttaman resultantin etäisyys ankkuriryhmän keskiöstä. Yksittäisillä ankkureilla $\psi_{ec,N} = 1$.

Kerroin $\psi_{M,N}$ on momentin aiheuttamasta puristuksesta määräytyvä kerroin. Tarkemmat tiedot tilanteessa, jossa $\psi_{M,N} < 1$ löytyy eurokoodista EN 1992-4 sivulta 52.

4.1.3 Ulosvetomurtuminen

Ulosvetomurtumiseen vaadittu rasitus tulee mitata EOTA:n ohjeistuksen mukaisesti. Jokaiselle ankkurimallille on erikseen määritelty vaadittavat testaustavat. Ohjeistus löytyy ankkurimallia käsittelevästä EAD:sta ja EOTA TR dokumenteista.

4.1.4 Betonin sivukartio- ja halkeamismurtuma

Halkeamismurtumisen estäminen kiinnitysvaiheessa niillä ankkurimalleilla, jotka aiheuttavat jännitystä betoniin kiinnittyessään estetään seuraamalla ankkurille ominaisia minimi

reunaetäisyyksiä c_{min} , s_{min} ja h_{min} . Halkeamismurtuman johtumista ankkurin vedosta ei tarvitse tarkastella, jos kaikki reunaetäisyydet täyttävät ehdon $c \geq c_{cr,sp}$. Missä $c_{cr,sp}$ on yksittäisten ankkureiden vetotesteistä arvioitu arvo (EAD 330232-00-0601: 2016, s. 39).

Sivukartiomurtumaa ei tarvitse tarkastella muille, kuin mekaanisesti kiinnittyville ankkureille. Tarkastelua ei vaadita, jos $c \geq 0.5 \cdot h_{ef}$.

Jos edellä mainitut ehdot eivät täyty, tulee murtumismuodot mitoittaa eurokoodin EN 1992-4 sivujen 57-61 mukaan.

4.1.5 Betonin ja sidosaineen yhdistetty murtuminen

Yhdistetty murtuminen ankkurille, tai ankkuri ryhmälle mitoitetaan kaavan (9) mukaan.

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,Np} \quad (9)$$

Missä $N_{Rk,p}^0$ on yhden ankkurin kestävyys tilanteessa, jossa siihen ei vaikuta muiden ankkureiden kuormat, tai liian pienet reunaetäisyydet. $N_{Rk,p}^0$ määritellään kaavan (10) mukaan.

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad (10)$$

Missä $\psi_{sus} = 1$, jos $\alpha_{sus} \leq \psi_{sus}^0$. Muissa tapauksissa,

$$\psi_{sus} = \psi_{sus}^0 + 1 - \alpha_{sus} \quad (11)$$

ψ_{sus}^0 on mallikohtainen muuttuja, joka huomioi pitkäaikaisen kuorman vaikutuksen ankkurin kestävyYTEEN. Jos arvoa ei ole annettu Euroopan teknillisessä tuote selostuksessa, niin suositusarvona voidaan käyttää $\psi_{sus}^0 = 0.6$.

α_{sus} on pitkäaikaisten kuormien ja kaikkien kuormien välinen suhde.

Kertoja τ_{Rk} on sidosaineesta ja betoniluokasta määräytyvä arvo.

$$\tau_{Rk} = \begin{cases} \tau_{Rk,cr} & (\text{Haljennut betoni}) \\ \tau_{Rk,ucr} & (\text{Halkeilematon betoni}) \end{cases}$$

Missä d on ankkurin halkaisija.

$A_{p,N}^0$ ja $A_{p,N}$ lasketaan samalla tavalla, kuin betonikartiomurtumisen arvot $A_{c,N}^0$ ja $A_{c,N}$. Yhdistetyssä murtumisessa arvot $s_{cr,N}$ ja $c_{cr,N}$ korvataan arvoilla $s_{cr,Np}$ ja $c_{cr,Np}$.

$$A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np} \quad (12)$$

$$s_{cr,Np} = 7.3 \cdot d \cdot (\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk})^{0.5} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad (13)$$

$$c_{cr,Np} = \frac{s_{cr,Np}}{2} \quad (14)$$

Kerroin $\psi_{g,Np}$ huomioi lähekkäin asetetut kemialliset ankkurit.

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0.5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 \quad (15)$$

Missä s on lyhyin ankkurien välinen etäisyys ja $\psi_{g,Np}^0$ määritellään kaavan (16) mukaan.

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1.5} \geq 1 \quad (16)$$

n on ryhmään kuuluvien ankkureiden lukumäärä. Yksittäisillä ankkureilla $\psi_{g,Np} = 1$.

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}} \quad (17)$$

$$k_3 = \begin{cases} 7.7 & (\text{Halkeillut betoni}) \\ 11 & (\text{Halkeilematon betoni}) \end{cases}$$

Kerroin $\psi_{s,Np}$ huomioi epätasaisen voimien jakautumisen betonissa, johtuen pienestä reunaetäisyydestä.

$$\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot \left(\frac{c}{c_{cr,Np}} \right) \leq 1 \quad (18)$$

$\psi_{re,N}$ huomioi ankkurin syvyyden kaavan (7) mukaan.

$\psi_{ec,Np}$ vastaa kaavaa (8), mutta ankkurien välinen etäisyys $s_{cr,N}$ on korvattu kemiallisille ankkuureille soveltuvalla arvolla $s_{cr,Np}$.

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{e_N}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1 \quad (19)$$

4.2 EOTA:n testimenetelmät

EOTA TR 048, 2016 antaa yksityiskohdat jälkikiinnitettyjen ankkureiden testaamiseen betonissa. Se sisältää seuraavat testit: vetolujuus, leikkauskestävyys, minimi etäisyyksien määrittäminen, laajeneminen kiila-ankkuureille ja tulipalon vaikutus veto-, ja leikkauskestävyyteen. TR 048:ssa annetut ohjeet ovat päteviä jokaiselle jälkikiinnitetylle ankkurille, ellei ankkurimallia käsittelevä EAD ohjeista toisin. EOTA:n hyväksynnit rajoittuvat betoniluokkiin C20/25-C50/60 ja minimi asennussyvyyteen 40 mm. Ankkureiden käyttöiäksi oletetaan 50 vuotta. (EOTA TR48, 2016, s. 1,3)

Ankkurimallille voidaan hakea usean eri tilanteen hyväksyntädokumenttia, näistä yleisimmät ovat halkeilemattomaan betoniin, halkeilleeseen betoniin ja palokestävyyteen liittyvät hyväksynnit. Muita EOTA:n sivuilla mainittuja hyväksyntöjä ovat staattinen- ja kvasistaattinen hyväksyntä. Seisminen hyväksyntä, jossa on kaksi eri tasoa (C1 ja C2), ja väsyttävän kuormituksen hyväksyntä. CE-merkintään vaadittu hyväksyntä on ETA (European Technical Assessment) hyväksyntä, jossa ankkuri hyväksytään vähintään halkeilemattomaan betoniin.

Myös muilla organisaatioilla on erikoistilanteisiin soveltuvia hyväksyntöjä, kuten FOCP:n (Federal Office of Civil Protection) sivuilta löytyvä iskuhyväksyntää käsittelevä informaatio

(FOCP, BBS-7531/4, 2017). Myös ydinvoimaloissa käytettävät jälkikiinnitettävät ankkurit vaativat erikoishyväksynnän ydinvoimalakäyttöön (SMiRT, 2015).

Suomi noudattaa EN 1992-4 mukaisia mitoitusperusteita ankkureille, joten Suomessa käytetyt ankkurit vaativat vähintään halkeilemattoman betonin hyväksynnän ennen, kuin tuotetta voidaan käyttää rakenteissa. Huomattavaa on, että nykyisen lainsäädännön mukaan betonin oletetaan olevan halkeillutta, ellei sitä erikseen voida osoittaa halkeilemattomaksi (EN 1992-4, 2018, s. 33). Tästä syystä vain halkeilemattoman betonin hyväksynnän omaavia ankkureita voidaan käyttää vain vähäisessä osaa betonirakenteita.

Hyväksynät määrittävät ankkureiden mahdolliset käyttökohteet, joten vetolujuuksia vertaillaan tulee arvioida myös ankkureiden eri hyväksyntöjä, ja niiden mahdollistamia käyttökohteita.

5. VETOLUJUUKSIEN VERTAILU

Vetolujuuksien vertailuun on valittu kahden eri valmistajan (Hilti ja Sormat) tuotteita. Valitut tuotteet on eritelty taulukossa 1. Jokaisesta edellä käsitellystä ankkurityypistä on valittu vähintään yksi molemmilta valmistajilta. Taulukoissa 2 ja 3 olevat arvot on kerätty ankkureiden ETA-hyväksyntädokumenteista. Kaikki tässä kappaleessa esitetyt arvot vastaavat tilannetta, jossa ankkurin sietokykyyn eivät vaikuta reunaetäisyydet tai asennusalan paksuus. Betoniluokka on jokaiselle arvolle C20/25.

Vetolujuuksien arvot ovat ominaislujuuksia, jotka on kerätty joko suoraan hyväksyntädokumenteista tai laskettu eurokoodin mukaisella tavalla. Eri murtumismuotoihin vaadittavat vetovoimat on laskettu erikseen, ja pienin arvo merkattu taulukkoon. Kartiomurtumisen laskennassa on käytetty suositusarvoja $k_{cr,N} = 7,7$ ja $k_{ucr,N} = 11$. Ominaislujuuksissa ei ole mukana varmuuskertoimia. Eri murtumismuodoilla ja eri ankkurimalleilla on erikseen määritetyt varmuuskertoimet, joten on mahdollista, että varmuuskertoimen käyttämisen jälkeen tässä osiossa esitetty murtumismuoto ei ole mitoittava muoto.

Taulukko 1. Vertailuun valitut ankkurimallit

HILTI	SORMAT	TYYPPI
HST3	S-KA+	Kiila
HDA-P	BLS	Takakartio
HIT-HY 200A/HIT-V	ITH 165-Pe/B500B	Kemiallinen
HKD	LA+	Lyönti
HUS3	MMS-S A4	Ruuvi

Taulukkoon 2 on kerätty 10 mm halkaisijalla olevien ankkurien karakteriset vetokestävyydet. Murtumistapa on eritelty alla olevien selitteiden mukaan. Merkinnät h_{ef} ja h_{min} tarkoittavat tehokasta kiinnityssyvyyttä ja vaadittua alusmateriaalin paksuutta. Molemmat arvot on haettu ETA-hyväksyntädokumenteista. Jos vetolujuutta ei ole mainittu, niin ankkurilla ei ole hyväksyntää halkeilleeseen betoniin.

- A) Teräksen murtuminen
- B) Betonin kartiomurtuminen
- C) Luisumismurtuminen

D) Yhdistetty murtuminen

Taulukko 2. 10 mm halkaisijan ankkureiden kestävyys

Ankkuri- tyyppi	Kiila		Takakartio		Kemiallinen		Lyönti		Ruuvi	
Malli	HST3	S-KA+	HDA-P	BLS	HIT-HY200A HIT-V 9.5mm	ITH 165-Pe B500B	HKD	LA+	HUS3	MMS-S A4
h_{ef} (mm)	60	60	100	80	100	100	40	40	58.6	47.5
h_{min} (mm)	100	120	180	160	130	130	100	100	130	130
Halkeile- maton be- toni (kN)	22.0 C	19.0 C	46.0 A	29.3 A	20.7 A	25.1 D	8.7 B	8.7 B	17.5 B	11.8 B
Halkeillut betoni (kN)	15.0 C	12.0 C	25.0 C	16.0 C	20.7 A				12.2 B	8.3 B

Taulukon 1 ankkureiden tehokas syvyys vaihtelee 40 mm ja 100 mm välillä, ja näin ollen myös tulokset eivät ole suoraan verrannollisia keskenään. Voidaan silti nähdä, että tässä kokoluokassa kiila-, takakartio-, ja kemiallinen ankkuri antavat selvästi suurimmat tulokset.

Taulukossa 2 on esitetty samat ankkurimallit 20 mm halkaisijalla. Jos kyseisestä mallista ei ole 20 mm mallia, niin on valittu suurin halkaisija valikoimasta. Jos halkaisija ei ole 20 mm, niin se on esitetty erikseen mallin nimen perässä. Mallia MMS-S A4 ei ole mukana taulukossa, koska siitä löytyi vain 12 mm vaihtoehto.

Taulukko 3. 20 mm halkaisijan ankkureiden kestävyys

Ankkuri- tyyppi	Kiila		Takakartio		Kemiallinen		Lyönti		Ruuvi	
Malli	HST3	S-KA+ 16mm	HDA-P	BLS	HIT- HY200A HIT-V 19.1mm	ITH 165- Pe	HKD	LA+ 16mm	HUS3 14mm	
h_{ef} (mm)	101	85	250	200	100	100	80	65	91.8	
h_{min} (mm)	200	170	350	400	130	130	160	160	200	
Halkeile- maton be- toni (kN)	50.0 B	36.0 C	192.0 A	125.6 A	89.4 A	50.3 D	35.2 C	21.3 B	41.5 B	
Halkeillut betoni (kN)	35.0 B	24.0 C	95.0 C	75.0 C	51.0 D				29.0 B	

Taulukoiden 2 ja 3 mukaan selvästi suurimmat vetolujuudet löytyvät takakartioankkureista. Niiden asennussyvyys on myös suurin valituista ankkurimalleista. Ulosvetomurto vaatii takakartioankkureilla enemmän voimaa kuin muilla malleilla, johtuen rakenteen täysin mekaanisesta kiinnityksestä. Teräksestä murtuville ankkureille tulokset ovat täysin riippuvaisia ankkurin teräslaadusta.

Murtumistapoja tarkastellessa tulee huomioida, että luisumalla murtuvat kiila-, lyönti- ja takakartioankkurit eivät hyödy asennussyvyyden lisäämisestä. Betonikartiona tai yhdistettynä murtumisena pettävä ankkuri lisää kestävyyskykyään, jos asennussyvyttä lisätään. Ankkurit, jotka murtuvat teräksen takia, eivät myöskään hyödy asennussyvyyden lisäämisestä.

Taulukkoon 4 on koottu Hiltin mallien hinnat. Hinnat ovat 10mm ankkureille ja ne on kerätty Hiltin kotisivuilta. Sormatin malleja ei ole merkattu, sillä jokaisen mallin hintatietoja ei löytynyt internetistä. Taulukon hinnat ovat keskivertohintoja. Hintatietojen tarkoitus on antaa kuva ankkurien hintatasosta eikä kuvata tarkkoja hintoja.

Taulukko 4. *Hiltin ankkurimallien hinnat*

Malli	HST3	HDA-P	HIT HY200A HIT-V	HKD	HUS3
Hinta €	1.20	25.70	0.80+0.70 =1.50	0.50	1.50

6. YHTEENVETO

Vetolujuuksien vertailu ankkurimallien kesken osoittautui vaikeaksi, sillä asennussyvyys vaihteli suuresti. Tämän vuoksi arvoja voidaan pitää enintään suuntaa antavina. Arvot olisi myös voinut muuttaa eurokoodin kaavoilla samoihin asennussyvyysiksi, mutta tämän vuoksi ei olisi markkinoilla olevien mallien vertailu onnistunut. Jotta ankkurien toimivuudesta ja käytännöllisyydestä voisi antaa kokonaisvaltaisen kuvan, tulisi kaikkia seuraavia tekijöitä tarkastella ankkurikohtaisesti: hyväksyntädokumentteja, hintaa, asennus vaiheita, virheiden mahdollisuutta ja veto-, leikkaus-, palo- ja seismisiä kestävyyskäsitteitä.

Takakartioankkurit osoittautuivat puhtaasti vetolujuutta tarkasteltaessa kestävimmiä, mutta niillä oli myös suurin asennussyvyys. Myös teräksen laatu oli takakartioankkureilla vahvempaa ja Hiltin mallissa hyväksyntöjä löytyi useaan eri kuormitustapaukseen. Takakartioankkurin asennus ja käyttötarkoitus ei palvele tilanteita, joissa ajatellaan vaan puhdaita vetolujuuksia. Niiden hyödyt korostuvat vaativissa ja useita eri hyväksyntöjä vaativissa tilanteissa. Myös niiden hinta on huomattavasti muita ankkurimalleja suurempi.

Lyöntiankkureiden murtumiseen vaadittavat kuormat olivat pienimpiä muihin tutkittuihin ankkurimalleihin verrattuna, ja niillä ei yleisesti ollut hyväksyntää halkeilleeseen betoniin. Vaikka lyöntiankkureiden hinta on pieni, pystyvät kiila- ja ruuviankkurit samaan suorituskäyttöön pienemmällä halkaisijalla ja ovat vain hieman kalliimpia. Lyöntiankkureiden heikkous on myös kiinnityksen valvominen. Jokainen kiinnitys tulisi tarkastaa, koska lyöntiankkuri kiinnitetään heti lopulliseen kiinnitysvoimaansa. Esimerkiksi kiila-ankkureiden kiinnitys paranee vedossa, joten se ei aiheuta yhtä suurta vaaraa, vaikka alkuperäistä kiinnitystä ei ole toteutettu riittävällä tarkkuudella.

Kiila- ja ruuviankkurit osoittautuivat kohtuullisen tasavertaisiksi vetolujuuksien osalta. Ruuviankkuri oli suhteessa myös parempi suuremmalla halkaisijalla. Molempien asentaminen on yksinkertaista ja virheiden mahdollisuus kohtuullisen pieni. Vetolujuutta ajatellen ruuviankkuri osoittautui silti parhaimmaksi mekaanisesti tai kitkalla kiinnittyvistä ankkureista. Sen suurin etu on poistettavuus, ja uudelleenkäytettävyys. Ruuviankkurin sietokyky asennusreiän epäpuhtauksille on myös huomattava etu muihin ankkurityyppeihin verrattuna.

Kemiallisten ankkurimassojen tapauksessa mahdollisuus käyttää erilaisia tartuntarautoja betonissa, ja asennussyvyys, joka ei ole sidottu erilliseen ankkuriin, tekee siitä uniikin verrattuna muihin jälkikiinnitettäviin ankkureihin. Mahdollisuus asentaa erilaisia tartuntoja

eri syvyyksiin tekee kemiallisista ankkureista myös vetokestävyyksien kannalta erittäin hyvän vaihtoehdon. Tartuntaraudat voidaan myös mitoittaa suoraan teräksen murtumiseen asti asennussyvyyttä lisäämällä, mikä tekee myös mitoituksesta yksinkertaista. Ankkurimallin ongelma on suuri heikkeneminen vetokestävyyksissä porausreiän mahdollisten epäpuhtauksien takia ja kapselimallien huonon sekoittumisen seurauksena. Näitä asennustyön virheitä on kuitenkin suhteellisen helppo kontrolloida työmaaympäristössä ohjeistuksella ja valvonnalla.

Eri murtumistapojen mitoittaminen eurokoodin mukaisesti oli selkeää, mutta EOTA:n järjestelmä pitää ankkurien testeihin liittyvää informaatiota kahdessa eri paikassa (EAD ja EOTA TR) oli hämmentävää ja aiheutti useasti epäselvyyksiä. Dokumenteissa oli myös päällekkäistä tietoa. Mitoituksessa ja murtotavoissa betonin käyttäytymisen ymmärtäminen, kun jännityslähde on betonin sisällä, vaati kohtuullisen laajaa ymmärtämistä betonin ominaisuuksista.

LÄHTEET

EAD, 330232-00-0601, Mechanical fasteners for use in concrete, 2017.

EN 1992-4, 2018.

ETAG 001, Metal Anchors for Use in Concrete, Part 4: Deformation-Controlled Expansion Anchors, 2013.

ETAG 001, Metal Anchors for Use in Concrete, Part 5: Bonded Anchors, 2013.

ETAG 001, Metal Anchors for Use in Concrete, Annex C: Design Methods for Anchorages, 2010.

EOTA TR48, Details of tests for post-installed fasteners in concrete, 2016.

Federal Office for Civil Protection FOCP, BBS-7531/4, Testing and Approval of Anchor Systems, 2017.

SMiRT23, Fastenings in nuclear power plants qualified for extreme actions due to basis accidents and severe accidents, 2015.

Eligehausen Rolf, Mallée Rainer, F.Silva John, Anchorage in concrete construction, 2006.

Mantila Ville, field engineering, Hilti. keskustelu 13.11.2019.

K-rauta, Sormatin betoniruuvi S-CSA HEX, haettu <https://www.k-rauta.fi/rauta-kauppa/rakennustarvikkeet-ja-puutavara/pienrauta/porattavat-kiinnikkeet/betoniruuvi-sormat-s-csa-hex-6x50-sw13-10kpl> 29.11.2019.

Hilti HST3 ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h5c/h4a/9468060008478/ETA-98-0001-HST3-HST-metal-expansion-anchor-Approval-document-ASSET-DOC-5422375.pdf 30.11.2019.

Hilti HDA-P, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h52/hf0/9342556962846/ETA-99-0009-for-HDA-self-cutting-undercut-anchor-ETAG-001-03-Option-1-Approval-document-ASSET-DOC-APPROVAL-0110.pdf 1.12.2019.

Hilti HIT HY200A, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h9f/h4a/9359994716190/ETA-15-0195-for-HIT-HY-200-A-injection-mortar-concrete-Approval-document-ASSET-DOC-6853759.pdf 6.1.2020.

Hilti HKD, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h10/hbb/9342557028382/ETA-02-0032-for-HKD-drop-in-anchor-ETAG-001-04-Option-7-Approval-document-ASSET-DOC-APPROVAL-0116.pdf 2.12.2019.

Hilti HUS3, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/he3/hca/9471258296350/ETA-13-1038-for-HUS3-H-C-HF-A-I-I-Flex-P-PS-PL-screw-anchor-ETAG-13-1038-Option-1-Approval-document-ASSET-DOC-2900836.pdf 6.1.2020.

Sormat S-KA+, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.sormat.com/wp-content/uploads/ETA-16_0934_S-KA_2019-05-06_EN.pdf 30.11.2019.

Sormat TYPE BLS, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.sormat.com/wp-content/uploads/ETA-01_0011_BLS_2019-03-19_EN.pdf 1.12.2019.

Sormat ITH 165-Pe, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.sormat.com/wp-content/uploads/ETA_ITH-Pe_ITH-Te_ETA-15_0220_EN_20160131.pdf 6.1.2020.

Sormat LA+, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.sormat.com/wp-content/uploads/ETA-13_0442_LAL_2018-09-17_EN.pdf 6.1.2020.

Sormat MMS-S A4, ETA hyväksyntädokumentti, haettu https://www.sormat.com/wp-content/uploads/ETA-06-0079_EN.pdf 6.1.2020.

EOTA:n EAD informaatio, haettu <https://www.eota.eu/en-GB/content/eads/56/> 26.11.2019.

EOTA:n TR informaatio, haettu <https://www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/28/> 26.11.2019.

EOTA:n ETAG informaatio, haettu <https://www.eota.eu/en-GB/content/etags/26/> 26.11.2019.